

大地工程發展史

第二高速公路及其後續計畫之大地工程回顧

林三賢*

一、前言

1972年8月我國第一條高速公路「南北高速公路」開工，至1978年完工，全長374公里，其中橋梁343座，長33.9公里。中山高速公路主體構築型式主要分為路堤、路塹、橋梁、隧道等，全線路堤約占90%、橋梁9.8%、隧道僅占0.2%。

1983年國道高速公路局提出「北部都會區網路系統初步研究」，規劃全長108公里的北部第二高速公路，並於1987年3月5日成立國道高速公路局北部第二高速公路工程處。為縮短臺北至宜蘭的行程距離，1989年4月17日成立國道南港宜蘭快速公路工程籌備處。交通部為統一事權，1990年1月5日將北部第二高速公路工程處與國道南港宜蘭快速公路工程籌備處合而為一，成立國道新建工程局(以下簡稱國工局)，由歐晉德博士擔任首任局長。其後經歷鄭文隆博士、邱琳濱博士、曾大仁博士、陳彥伯先生及趙興華先生等局長，至2018年2月9日完成階段性任務併入國道高速公路局。

國道3號及其後續計畫自1987年6月動工，至2004年1月11日全線通車。北二高及二高後續計畫包括主線、國道2號桃園機場環線、中、南二高及國道4號(臺中環線)、8號(臺南支線)、10號(高雄支線)號，全長518公里(其中432公里為主線，其餘為環線)，橋梁有358座，17座隧道(其包含國道3甲的臺北I及臺北II兩座隧道)。國道3號北起基隆市安樂區大武崙基金交流道與基金公路(臺2線)基隆港西岸聯外道路(臺2乙線)交會，南至屏東縣東港鎮大鵬灣端。

北二高及北二高計畫，原長約108公里，包含汐止至新竹主線，桃園內環線及臺北聯絡

道，後為紓解中和至新竹段通車後兩條高速公路於新竹會合之交通瓶頸，二高後續計畫的新竹南段長約9公里併入北二高計畫，因此主線長約99公里，加上環線長18公里，北二高總長計117公里。國道2號機場環線路段(西起桃園國際機場，連接國道一號，向東匯入國道三號)。

中二高與南二高包括國道4號(臺中環線豐原霧峰段)、8號(臺南支線，西起臺南安南區，於臺南系統交流道與國道1號相接，至新化系統交流道再與國道3號交匯，東至臺南市新化區)10號(高雄支線，西起高雄市左營區，東至高雄市旗山區，於鼎金系統交流道與國道1號相接，再於燕巢系統交流道與國道3號交會)。

國道5號(建設經費906億)，又稱蔣渭水高速公路，通車路段55公里，北起臺北南港區，迄於宜蘭蘇澳鎮。橋梁62座，總長度23.5公里。隧道有南港隧道(456、431公尺)、石碇隧道(2698、2720公尺)、烏塗隧道(215、246公尺)、彭山隧道(3861、3806公尺)、雪山隧道(12871、12947公尺)、北宜高全線5處隧道單線總長20.1km；橋梁總長28.6km，其餘5.8km為路堤或路塹。

國道6號南投段，2004年1月動工興建，路線西起臺中縣霧峰，與國道3號銜接，東迄埔里，總長37.6km。本路段主線上共有橋梁19座，長度26.4km；隧道3處(6座)，路線長4.3km，橋隧長度約占本路段82%。

國道1號五股至楊梅段拓寬工程，北起汐止五股高架橋，南至楊梅收費站北端，全長約40km，2009年10月28日正式開工，中壢至楊梅段於2012年12月先行通車，2013年4月完成五股中壢段全線通車。

國工局約30年歷史的國道建設，從規劃、設計、施工到最後高速公路網的形成，對我國

* 臺灣海洋大學河工系

近幾十年來的經濟發展有其不可磨滅的貢獻，這中間大地工程亦占有相當程度的比例。本報導旨在彙整並回顧二高及二高後續各計畫中有關大地工程的主要工項、技術與貢獻，這其中也隱含國內30年間大地工程技術的發展與進步的歷史過程。以下僅分別就大地工程調查、隧道工程、基礎工程與邊坡工程等主要工項予以彙整敘述。

二、大地工程調查

國工局國道建設於規劃、初設與細設等各階段的大地工程調查包含航照與遙測、地表地質調查、鑽探調查、各項實驗室內試驗、現地試驗、與地球物理探測等。至2012年的資料有關第二高速公路後國工局建設地調所提供地質鑽孔數量占中央地調所全國工程地質探勘資料庫總量之26.58%，總計所完成地調報告540冊，鑽孔數量超過1萬孔。

垂直鑽孔最深為雪隧3號豎井的490m，而最長之水平鑽孔為雪隧導坑的480m。北二高福德隧道曾開挖探查橫坑150m，雪隧亦曾於隧道南口施作探查橫坑150m長，斷面寬約1.5m，高約2.1m。

三、隧道工程

國道3號全程共有15座隧道，其中9個位在臺北盆地南邊山區，基隆至中和段主線即佔10座。而埔頂(I)及(II)號隧道為假隧道。各路段各隧道的初步資料彙整於表一至表七。

以上各隧道的特色、施工過程及遭遇困難如何克服等，予以回顧如下：

3.1 基隆隧道

位於基隆河和古走廊北側山嶺，穿越地層主要為大寮層中至上部，岩性為厚層砂岩、砂頁岩互層，頁岩夾砂岩及塊狀砂岩。隧道位置距新山水庫僅300m，施工期間水位觀測及開挖面地下水滲流狀況為監測種點。採用新奧工法，以鑽炸、機械開挖施工。南下線北洞口，由於該洞口位於一凹谷且隧道覆蓋厚度不到3m，於是採預襯支保工法施工。

表一 國道3號隧道

隧道名稱	長度(m)	斷面(m ²)	形狀	施工法
基隆 北上線	1278	148	馬蹄形	鑽炸與機械開挖
基隆 南下線	1255			
七堵 北上線	555	148	馬蹄形	鑽炸與機械開挖
七堵 南下線	530			
汐止 北上線	634	148	馬蹄形	鑽炸與機械開挖
汐止 南下線	666			
福德 北上線	1726	156	馬蹄形	鑽炸與機械開挖
福德 南下線	1762			
木柵 北上線	1875	14.55m(寬)	扁平	
木柵 南下線	1848	8m(高)	三心圓	
景美 北上線	573	14.55m(寬)	扁平	
景美 南下線	564	8m(高)	三心圓	
新店 北上線	1222			懸臂式掘削機
新店 南下線	1185			
碧潭 北上線	503	120~150		懸臂式掘削機與鑽炸
碧潭 南下線	521			
安坑 北上線	398	11.85m(寬)	馬蹄形	機械開挖
安坑 南下線	466	5.1m(高)		
中和 北上線	831	11.85m(寬)	馬蹄形	機械開挖
中和 南下線	872	5.1m(高)		
埔頂(I) 北上線	555		箱型	
埔頂(I) 南下線	530			
埔頂(II) 北上線	335		箱型	
埔頂(II) 南下線	335			
大林 北上線	150			
大林 南下線	150			
蘭潭 北上線	1212	170	馬蹄形	機械開挖
蘭潭 南下線	1254			
中寮 北上線	1830	158	馬蹄形	機械開挖
中寮 南下線	1860			

表二 國道3甲隧道

隧道名稱	長度(m)	斷面(m)	形狀	施工法
臺北II北上線	211	10m(寬)	圓拱	
臺北II南下線	192	7m(高)		
臺北I北上線	790	10m(寬)	圓拱	
臺北I南下線	800	7m(高)		

表三 國道5號隧道

隧道名稱	長度(m)	斷面(m)	形狀	施工法
南港 東行線	455	10.8 x 8.75	馬蹄形	鑽炸法
南港 西行線	455	10.8 x 8.75	馬蹄形	鑽炸法
石碇 東行線	2697	10.8 x 8.75	馬蹄形	鑽炸法
石碇 西行線	2720	10.8 x 8.75	馬蹄形	鑽炸法
烏塗 東行線	216	14.4 x 9.63	馬蹄形	鑽炸法
烏塗 西行線	248	10.8 x 8.75	馬蹄形	鑽炸法
彭山 東行線	3861	10.8 x 8.75	馬蹄形	鑽炸法
彭山 西行線	3806	10.8 x 8.75	馬蹄形	鑽炸法
雪山 東行線	12,900	TBM: 11.8	圓形	TBM
雪山 西行線	12,900	D&B: 12.5 x 12.64	馬蹄形	鑽炸法
導坑	12,900	TBM: 4.8	圓形	TBM

表四 國道6號隧道

隧道名稱	長度(m)	斷面(m)	形狀	施工法
國姓一號東行線	2464	7.9m(寬)	馬蹄形	鑽炸與機械開挖
國姓一號西行線	2447	4.9m(高)		
國姓二號東行線	535	7.9m(寬)	馬蹄形	鑽炸與機械開挖
國姓二號西行線	480	4.9m(高)		
埔里 東行線	1309	7.9m(寬)	馬蹄形	鑽炸與機械開挖
埔里 西行線	1266	4.9m(高)		

表五 國道3各鑽炸隧道上半斷面開挖進度統計表 (李和王, 2014)

隧道名稱	總開挖長度 (m)	平均開挖進度 (m/month)	最高開挖進度 (m/month)
福德隧道	3,345	43	87
木柵隧道	3,513	26	80
景美隧道	1,031	25	-
新店隧道	2,067	18	-
碧潭隧道	925	28	88
安坑隧道	750	36	-
中和隧道	1,527	25	-

表六 國道5各鑽炸隧道上半斷面開挖進度統計表 (李和王, 2014)

隧道名稱	總開挖長度 (m)	平均開挖進度 (m/month)	最高開挖進度 (m/month)
南港隧道	714	45	97
石碇隧道	5,331	52	102
烏塗隧道	358	28	-
彭山隧道	7,604	72	117

表七 國道6各鑽炸隧道上半斷面開挖進度統計表 (李和王, 2014)

隧道名稱	總開挖長度 (m)	平均開挖進度 (m/month)	最高開挖進度 (m/month)
國姓一號隧道	4,821	65	118
國姓二號隧道	949	34	80
埔里隧道	2,530	77	106

3.2 七堵隧道

本隧道所經岩層屬石底層之白砂岩及砂頁岩互層，採用新奧工法，以鑽炸、機械開挖施工。南下線南洞口路線位崩積層，為避免洞口開挖造成邊坡不穩定，沿線北側打設直徑 1m 排樁，樁距為 1.25m，並安裝預力岩錨，其設計強度為 67 Ton/支，採跳島式開挖，開挖面打設排水管，並築一 20m 深集水井降低水壓。

3.3 汐止隧道

本隧道所在位置主要為第三紀中新世大寮層及石底層組成，採用新奧工法，以鑽炸、機械開挖施工。隧道南口南下線上半斷面於 1998 年 3 月 2 日挖至 8k+785 時，洞口正上方邊坡噴凝土產生龜裂與鼓起，且隧道內預拱之鋼支保有受到擠壓變形，隔日，南下線洞口邊坡及隧道 8k+805.6~785 共 20 對支撐系統塌滑遭掩埋，隧道上方地表出現嚴重開裂。發生主因為洞口右後方為一向洞口傾下之凹陷地形，加上事故前的連日豪雨，水沿砂/頁岩界面流動而造成災害。修復採現況整地，新鑽掘洞口修整邊坡，再於隧道新洞口上方打設垂直縫地工法(灌漿鋼管直徑 4 inch，長 8~25m)，並進行固結灌

漿。再打設水平管幕(直徑 4 inch，長 30m)，並於洞口架設假支保，縮小輪進重新開挖。

3.4 福德隧道(圖一)

隧道路線自研究院路四段四分子溪右岸以南偏西約 40°之方向穿越南港層與深坑間之陵線，至福德坑掩埋場東側山谷以南接木柵交流道。隧道路線通過南港層及大寮層，屬中新世，其間有成福斷層及其擾動帶經過，施工採新奧工法，以鑽炸方式開挖。



圖一 北二高福德隧道北口 (張文城提供)

3.5 木柵隧道

位於臺北市木柵丘陵地區，地質上穿越南港層、南莊層、大寮層等地層，於 11k+550~625 處與灣潭斷層相交，斷層以北為南港層砂岩及南莊層砂頁岩互層，斷層以南為大寮層砂頁岩互層。開挖過程本隧道受灣潭斷層破碎帶之影響，隧道淨空產生持續性之擠壓變形，隧道襯砌亦受擠壓破裂，襯砌經多次補強，仍無法抑止持續的變形，最大變形量曾達 1.5m，最後經重新修挖及內襯砌補強，隧道才趨穩定。

3.6 景美隧道

本隧道位於木柵隧道之後方，地質上穿越大寮層等地層，北口位於舊崩坍地，最後引進半階式明挖覆蓋施工，為國內首次使用大斷面公路隧道之進洞施工方式。南洞口位於大型崩坍地，因位灣潭斷層附近，岩層破碎且地下水豐富，最後係採管幕工法做為施工輔助措施。

3.7 新店隧道

穿越新店五峰山腰，北有新店交流道，南有安坑交流道。開挖斷面三線道約在 120 至 160 平方公尺，局部為四線道其開挖斷面為

230平方公尺。隧道開挖引進懸臂式掘削機(Roadheader)從新店五峰路61巷北洞口開始以側導坑工法往南開挖，於1997年完工。施工過程，一號隧道遇颱風影響，引致隧道穿越80幾公尺的邊坡嚴重龜裂變形，於是將其中部分的交流道匯入主線段的邊坡改為隧道段。另二號隧道施工過程曾於南下線北口發生抽心。

3.8 碧潭隧道

位於新店東側山區邊緣，通過南港層泥質砂岩，局部為砂頁岩互層。開挖採用懸臂式掘削機，由於開挖效率不佳，最後仍採鑽炸法。隧道北洞口岩層層面幾乎與隧道軸線平行，且層面呈高角度傾斜，由於連續豪雨影響，1994年9月16日發生洞口順向邊坡滑動，並導致隧道內長55m的崩塌段與155m長的擠壓段變形。除洞口邊坡以地錨加強穩定，擠壓段進行輻射狀灌漿，崩塌段先由洞口上方進行固結灌漿再配合管幕工法開挖。

3.9 安坑隧道

所通過岩層為中新世之石底層及大寮層，岩性以砂岩及頁岩為主。隧道北上線北洞口，因位於安坑斷層帶上，曾發生兩次坍塌，最後以延長洞口假隧道段，坡趾回填水泥拌土以壓重，配合管幕工法始得以克服。

3.10 中和隧道

穿越清水坑背斜，遇公館凝灰岩、木山層之砂頁岩薄互層及厚層白砂岩等岩層。北上線於1992年12月完成上半斷面貫通，因部分斷面擠壓變形，並入侵至襯砌斷面，於是1993年3月開始斷面整修，曾因地處背斜帶張裂節理發達，造成90m長之坍塌，於是重新施做水平前進填充灌漿及開挖面外圍固結灌漿再重新開挖，1995年底打通完成。南下線中間約200m處下半斷面開挖時變位入侵約15~30cm，1993年4月又受北上線崩塌之影響而變位加劇高達100cm，於是緊急架上H型鋼支保，1993年6月始告穩定，配合北上線的修復，於33k+430~650實施外圍30cm之固結灌漿，再採環狀擴挖將下陷段逐輪整修。

3.11 臺北(I)隧道

隧道通過大寮層、南港層及成福斷層，其為

一高角度逆衝斷層與隧道軸向呈大角度相交。

3.12 臺北(II)隧道

隧道通過大寮層薄層頁岩與砂岩互層及頁岩偶夾砂岩。1997年6月6日因颱風豪雨，導致東洞口發生坍塌，並壓損東洞口隧道20m，經以延長涉假隧道長度、坍塌區底部設置石籠並於其上方設排水溝及於滑動區頂部增設岩栓及灌漿錨筋來解決。

3.13 埔頂(I)及(II)假隧道

位於桃園大溪路段的埔頂隧道有二座雙孔隧道。本段的國道為地塹地形，因埔頂地區已有都市計畫，為了不讓國道造成社區分離，所以設計了二座假隧道。

3.14 蘭潭隧道

隧道淨寬14.78公尺淨高10.71公尺，雙孔中心35公尺至40公尺，隧道位置面臨強度不高的泥岩與膠結疏鬆的砂岩，以及砂泥岩互層。本身自立性不佳，加上地下水位線約在頂拱上方10至20公尺處，隧道正上方有姜母寮村民宅及一10層樓高大樓，其下方覆蓋層僅有40公尺。

為克服各種困難，本案隧道洞口採半階式拱蓋工法及雙側導坑工法、各種施工措施包括鋼纖維噴凝土、桁型鋼肋、管幕鋼管、先撐鋼棒、地表抽水井、開挖面排水管、隧道內管式排水溝。

本案地質條件NGI-Q及CSIR-RMR的岩體分類並不適用，因此設計單位依本區岩性分為三類，北口北上線東側導坑開挖42公尺時，開挖面屬厚層泥岩，僅上半部土夾有50至100公分厚之砂層，其分類趨向屬於III類，於是調整為單側導坑分5階開挖，稱為CD工法，為本案之特色。

3.15 中寮隧道

為於高雄田寮與燕巢間的中寮山，北上全線長1828公尺，南下線全長1858公尺，為一雙孔單向三車道隧道，斷面達156平方公尺。沿線經過泥岩地形，烏山層砂岩、蓋子寮層頁岩。其間有多條斷層經過，例如旗山斷層，此斷層兩側有天然氣及地下泥漿噴出。考慮地質、地形及周邊環境因素，採用機械方式開挖，施工期間遭遇惡劣地質及大量湧水等災

變，工程進度曾受影響，於2000年2月2日通車。中寮隧道由於經過旗山斷層，每年受擠壓抬升約8cm，通車16年來已累積抬升130cm，國道高速公路局已決定將隧道前方的田寮高架橋(經過龍船斷層)改為路堤，而中寮隧道則將改建為路塹。

3.16 南港隧道

本隧道全線通過中新世野柳群地層，岩性以頁岩為主之砂頁岩互層。地質構造上隧道位於猴洞背斜西北翼及崙頭斷層東南側之間，岩層位態受構造影響，大致呈35~55°東之走向，向西北傾斜約26~84°，和隧道軸線走向約略垂直。

3.17 石碇隧道

如同南港隧道般本隧道全線通過中新世野柳群地層，大部分路段位於木山層，其主要以頁岩為主之砂頁岩互層；凝灰岩體岩性以凝灰岩為主，局部夾玄武岩及凝灰質砂岩；而大寮層岩性以厚層泥質砂岩、厚層頁岩及頁岩為主之砂頁岩互層。隧道施工過程多次遭遇煤坑及煤層，尤其是東行線曾遭遇煤礦1.8m x 1.2m之主坑道與1.2m x 1.9m之片道。而西行線則遭遇廢煤坑，其係以自下而上以灌漿填充岩隙中孔洞，以改良岩體。

3.18 烏塗隧道

本區山脈受水流縱橫截切，形成豚背山，岩盤由砂岩夾薄層砂頁岩互層及厚層砂岩為主，岩體分類以Bieniawski之Rock Mass Rating法，第IV類有395m，第V及第VI類分別有128m及122m長。隧道北上線南口於1997.10.1下午突崩坍，造成洞口上方邊坡保護工之岩栓、噴凝土及假隧道支撐工、上半斷面已開挖約15m之鋼支保、噴凝土受破壞，坍方邊坡有土方3000立方。洞口岩盤層面因施工及雨水滲透形成弱面，造成潛在不穩定機制為災害主因。於是於崩塌部分變更為明挖隧道，洞口右側邊坡依岩層層面修挖，並以25mm直徑非預力岩栓及噴凝土護坡，洞口正面及左側以1(V):0.3(H)修坡，再以25mm直徑非預力岩栓及噴凝土護坡。

3.19 彭山隧道

全線穿越以屈尺斷層為界之西部麓山帶及雪山山脈兩地質區，實際施工遭遇磨石坑斷層、與屈尺斷層正交與竹子易斷層。屈尺斷層段採用管幕鋼管配合雙鋼支保及25mm厚噴凝土支撐工法施工。

3.20 雪山隧道

從1991年7月15日坪林隧道導坑南口以鑽炸法開挖算起，歷經15年，至2006年6月16日國道5號南港至頭城段31km全線通車。

隧道導坑直徑4.8公尺，主坑直徑11.8公尺，3部TBM受困26次，主坑西行線TBM並因此報廢。1993年初至1995年底為TBM摸索階段，這段時間TBM僅推進1.6km，進場2至3年中TBM受困高達十次。接下來的階段更艱困，1997年雪隧西行線TBM遭夾埋1997年12月15日，西行線挖到水脈，湧水量最大高達750公升每秒。隧道壓毀100多公尺，坍方一萬立方公尺，耗時2年5個月才重新開挖。圖二即為1997年12月18日雪山隧道主坑西行線38k+902坍方的紀錄。

雪山隧道工程最大困難為遇四稜砂岩段(全長3671公尺，單壓強度高達1200至2785kg/cm²)。此段挖鑿耗時3027天，平均一天只有一公尺多的進度，受困停頓時間共占885天。雪山隧道西行線TBM38K+902.5災變清理至機頭之情況如圖三。

本隧道亦包含豎井六座，採用昇井工法，最深1號豎井深度512公尺。圖四係92年2月8日一號豎井排氣井RBM擴孔鑽頭安裝紀錄。

3.21 國道5頭城蘇澳段之管推進工程

本路段國工局代辦臺電管路工程，以推進工法推進長度計於得子口溪175m，美福大排右側130m及左側107.5m，以及烏水溝27.5m，管徑均為2m。出發井前方、到達井四周以及推進路線沿線上方均以CCP灌漿進行地盤改良。

3.22 國道6國姓一號隧道、國姓一號隧道與埔里隧道

國姓一號隧道最大覆蓋層為350m，主要



圖二 雪山隧道主坑西行線 38k+902 坍方 (張文城提供)



圖三 雪山隧道西行線 TBM38K+902.5 災變清理至機頭 (張文城提供)



圖四 2003年2月8日一號豎井排氣井 RBM 擴孔鑽頭安裝 (張文城提供)

岩體為砂岩與砂質頁岩，隧道大致垂直岩層走向，並通過大橫屏山向斜及水流東斷層。國姓二號隧道最大覆蓋層為110m，主要為硬頁岩偶夾薄層砂岩，24k+354通過北山坑向斜軸部，24k+300附近有一寬20m之破碎帶。埔里隧道最大覆蓋層為110m，主要岩性為石英砂岩、炭質頁岩與礫岩，通過觀音山向斜及觀音橋背斜，褶皺軸部之岩體破碎。設計採 RMR 岩體分類法，以鑽炸法與機械

開挖工法進行。國姓二號隧道西行線西洞口上方邊坡(24k+305~335)，於2006年4月17日因連日大雨發生坍滑，也損及已施工長7m之隧道開挖段與洞口保護工。

四、基礎工程

二高及二高後續計畫各橋梁依其所在位置、地質與水文條件以及橋樑特性等所設計的基礎型式主要包含擴展式基腳、樁基礎、沉箱基礎、井式基礎與壁式基礎。以下則針對較特殊橋梁之基礎彙整如下：

4.1 基汭五號高架橋

本橋址附近地表覆蓋層以棕黃色砂土為主，承載層深度位於地表下4至12m，為中新世大寮層砂岩與砂頁岩互層所組成。此拱橋基礎採直接基礎，引橋基礎則依地形及地質條件採井式基礎或直接基礎。

4.2 新店高架橋

位於木柵與新店交界，座落於以南港層為主之砂岩夾頁岩及砂/頁岩互層，地表有1至3公尺厚之低凝聚力沉泥質砂土，部分為含砂土之黏土質沉泥，新鮮岩盤位於地表下5至10m。本區承載層深度約4至6m，除 NP5，SP5，NP16，SP16，及 SP4墩因岩盤位置較深採樁基礎外，其餘橋墩基礎均採擴展基腳，基樁採60cm直徑，長6.5至11m之預鑄預力混凝土打擊樁，最大設計載重為50公噸，其中並有1:5之斜樁以抗水平力。

4.3 碧潭橋

由 TY Lin 國際工程顧問公司規劃與設計，大陸工程承建，1980年9月20日開工至1996年5月27日完工，總工程費16億1仟6百萬元。橋幅寬度南下及北上各16.35公尺，線形佈設曲線半徑750公尺，南下線長781.5公尺而北上線長813.7公尺，配置9跨連續曲線鋼構式橋梁，主孔跨徑160公尺，拱高20餘公尺。施工主跨採場鑄節塊懸臂施工方法，側跨及引橋採就地支撐場鑄工法。

橋下河床面主要為沖積卵礫石層厚約16-40公尺(SPT-N值約10至20)，其下方以砂

岩為主，局部為頁岩夾砂岩薄層。基礎型式採場鑄樁，以全套管方式施工(此搖管器)，各橋墩基礎基樁直徑均為2公尺，每支基樁均穿越卵礫石層再樁入岩盤6至14公尺，主跨橋墩有20支基樁，設計垂直承载力為1400 Ton。河道上之基樁施工前均先施作圍堰。施工機具主要採用 Baur BG26旋鑽機，樁底沉泥以氣昇式(air lift)清理。

本案施工由於主橋墩基礎及樁帽施工需開挖至河床底10公尺以下，河床材料又是高透水性的卵礫石層，計畫中之擋土及擋水設施則自行研發以同步油壓下降之鋼殼沉箱施工，獲致良好的成效(北部區域第二高速公路-碧潭橋專輯，1997)。

4.4 關西大橋

本橋跨越牛欄河谷，南端橋臺及大部分橋墩位於25~45度之山坡區，屬頭崙山層火炎山之粗礫岩、砂岩、泥岩及砂/泥岩互層之構造。而河床部分為卵礫石、砂層覆蓋於泥岩及礫岩互層之構造，地質條件好，因此橋梁基礎採用擴展基腳。

4.5 頭前溪橋

本橋跨越頭前溪，其河床岩盤位於河床面下約10m，橋墩基礎上部位於卵礫石層，下部位於香山相地層，基礎採用全套管斜樁高壓灌漿工法，使用特殊鑽掘機械，在岩盤、卵礫石等堅硬地層，施工迅速。基樁為1:8之斜樁，長度有1.2m 及1.5m 兩種，最大載重分別為795及900公噸。

4.6 嘉南大圳北幹線一號排水橋

本橋跨越嘉南大圳北幹線，地質屬全新世臺南層，土壤層含粉土質黏土、粉土及粉土質砂，承載層深度為餘地表下31~33m，橋臺及橋墩型式均採1.2m直徑鑽掘樁，橋臺A1、A2及橋墩P1、P2之基樁長度分別為38、38、35及30m。

4.7 臺南支線 C371Z 標高架橋

本橋工程範圍東起臺南環線8k+000處，止於環線14k+000，本路段通過臺南層沖積地層，主要由砂、粉土與黏土構成，橋梁橋墩為

方形柱式RC橋墩，其下基礎採5至11支1.2m直徑場鑄RC基樁，而A1橋臺基礎則是30支1.2m直徑場鑄RC群樁，鑽探報告顯示地表下30m處有一厚層粉土質細砂，其SPT-N值大於30而做為以上基樁之承載層。

4.8 高雄支線 C393Z 標高架橋

本橋工程範圍北起高雄大社與仁武交界，至仁武八德南路附近，地形上數嘉南平原南端，地質上為沖積層，其底下為卵礫石砂層，部分為砂/泥岩互層之岩層，因此，基礎採用5至8支1.2m直徑之場鑄樁，每支樁之長度在14m至52m之間。

4.9 高屏溪斜張橋

本橋梁是國內首座大跨徑複合式斜張橋，設計及施工技術高。本工區地質位旗山斷層東側，A1橋臺附近之丘陵地為嶺口礫石上段，主要由礫岩夾砂岩及泥岩透鏡體所組成，高屏溪兩岸則屬高屏溪沖積平原，主要由卵、礫石、粉土及中細砂間之泥岩透鏡體所組成。本橋P1橋塔地質條件屬卵礫石層，地表下2至8m及27至44m為高度風化且未完全固結之軟弱泥岩，而P1橋塔兩支塔柱基礎採分離式基礎版，版下採1.2m厚隔牆箱壁式基礎兩座(15.8 m長×19m寬×37m深)，兩基礎版間以一2m寬×3m深×58.9m長之預力橫梁連接，橫梁下另以兩支1.2 m厚×2.7m寬×33m深之隔牆箱壁式基礎支撐。A1橋臺所位地質為密集砂礫石層，其基礎為兩座0.8 m厚×34.4m長×18m深隔牆箱壁式基礎。P2橋墩基礎則採樁徑1.5m之全套管就地澆注混凝土基樁。

4.10 國道 5 南港頭城段

本路段除頭城以南蘭陽平原屬沖積層外，南港至坪林多山區，地質上多為岩層，因此本路段橋梁基礎於地形平緩處多採擴展基礎，而地形起伏較大之處則多採井式基礎。頭城以南基礎設計以樁基礎為主要。而河川橋易受沖刷影響之橋墩則採沉箱基礎。

本路段採用擴展基礎之橋梁主要包含景美溪橋及坑子口溪橋。下浦排水橋 頭城收費區聯絡道(一)、(二)號排水橋亦採擴展基礎，這三座橋之橋臺均採加勁橋臺。

有些橋梁則是擴展基礎與井式基礎並用，例如：石碇高架橋、潭邊橋、烏塗溪橋、烏塗高架橋、彭山一號高架橋、彭山溪橋、彭山二號高架橋、坪林一、二號高架橋、北勢溪橋。以上橋梁所採井基，橢圓形井基最大為10x6m 長最深達23m。圓形井基最大直徑達12m 長19m。另有頭城高架橋與頭城交流道穿越橋則是直徑1.5m全套管施工之樁基礎，長度分別為25m及35m。

4.11 國道 5 頭城蘇澳段

本段橋梁所經路線地層，適合做為承載層者除蘇澳新城溪附近位於約地表下20m外，其餘路段多位於地表下40~60m，因此本路段橋梁均採用全套管施工的樁基礎，主線使用直徑1.5m之樁，樁長35~55m，另於高架橋22k+985~24k+094及蘇澳交流道則用直徑1.2m之樁，樁長16~35m。

蘭陽溪橋採用長55m，樁徑1.5m樁，橋墩與上構為固接者，採6x6群樁而橋墩與上構為鉸接者，採6x5群樁。宜蘭河橋也採用長55m，樁徑1.5m樁，橋墩與上構為固接者，採7x6群樁而橋墩與上構為鉸接者，採6x4群樁。冬山河橋則採用長50m，樁徑1.5m樁，橋墩與上構為固接者，採9x6群樁而橋墩與上構為可活動者，採5x4群樁。

4.12 國道 6 橋梁基礎

有擴展基礎、全套管施工群樁、井式基礎及沉箱基礎。本路段橋梁，除以下介紹橋梁外，均採用擴展基礎。(表八)

表八 國道 6 橋梁基礎

橋梁名稱	基礎型式
烏溪4號橋、南港溪橋、埔里高架橋、牛眠高架橋、眉溪橋、愛蘭交流道聯絡道高架橋	擴展基礎及樁基礎
石灼坑溪橋	擴展基礎及沉箱基礎
斗山1、2號高架橋、種瓜坑高架橋、河曲高架橋	擴展基礎及井式基礎
平林高架橋、雙冬高架橋	擴展基礎、井式基礎及樁基礎
國姓高架橋	擴展基礎、沉箱基礎、井式基礎及樁基礎

4.13 烏溪四號橋

P5~P19橋墩，原設計為2m直徑全套管群樁，樁長為35~50m。然施工中因烏溪受颱風

豪雨而致河槽刷深，造成部分樁帽頂端高於最低河床面，於是調降P5~P19橋墩群樁基礎頂高程，每座基礎基樁數量為6~16支，樁長改為20~41m。

4.14 坪林高架橋

P17~P26橋墩跨越烏溪採樁基礎，原設計亦為2m直徑全套管群樁，樁長為29~45m。工址地質於地表下數公尺至十公尺為卵礫石層，其下方為砂/頁岩互層，傳統式全套管施工遭遇困難，後於卵礫石中以全套管工法配合入岩後採鑽岩用反循環鑽機(RCD)法施工克服。

4.15 雙冬高架橋

P1、P2、P3及P6及國姓高架橋P7~P10橋墩原設計亦為2m直徑全套管群樁，如同坪林高架橋般，工址地質於地表下數公尺至十公尺為卵礫石層，但其下方則為礫岩層，施工過程受卵石卡管及套管鑽頭磨耗等不利因素影響，最後改為外徑12m，長20~35m之沉箱基礎。

4.16 投 53 線鯉魚、龍門大橋

1999年921大地震，投53線鯉魚、龍門大橋發生落橋，國工局協助此二橋之災後重建工作。基礎工程部分，鯉魚大橋採直徑1.5m全套管基樁總計有80支，總長度2000m；而龍門大橋亦採直徑1.5m全套管基樁總計有70支，總長度1764m。

4.17 五股至楊梅段拓寬工程

本計畫沿線主要經過地層為臺北盆地之沖積層及桃園臺地群之林口層，因通過中央地調所劃定的「岩屑崩滑敏感區」以及土石流等地質敏感區域，因此主要工項為採高架橋，尤其是其中的泰山及林口兩座跨越橋，更是大家關注的焦點。這兩座跨越橋主跨橋墩基礎皆採用全套管施工2m直徑樁基礎，泰山跨越橋之樁深為30m，而林口跨越橋則是36m或31m。跨越橋兩側之邊跨，泰山亦採樁基礎，而林口則是直徑9m，深20m的井式基礎。此外，施工過程泰山跨越橋非臨高速公路採用H400型鋼，作為臨時擋土支撐，至於開挖鄰近高速公路處則採1.5m排樁。林口跨越橋臨山側亦採H400型鋼，而開挖鄰近高速公路處則採植入式鋼軌樁

+噴凝土+鋼線網方式支撐。

泰山山口雙層橋部分，緊鄰大窠坑溪，易受水位影響，基礎下地層表層為卵礫石層，厚度在3.6m以內，基礎於是採用部分樁基礎及部分井式基礎。雙層橋計有53座橋墩，其中樁基礎(直徑2m)有23座，而井基有30座，分別有9、10、11及12m直徑四種尺寸，深度則是19.5至25m。

五、邊坡工程

二高及二高後續計畫沿線邊坡甚多，主要的邊坡保護方式包含：邊坡生態綠化、打樁編柵植生、挖穴鋪網植生、鋼網格框植生、蜂巢式格框植生、串方塊混凝土護坡。然而於施工過程，諸多邊坡係經過工程師們特殊的處理始達現在的穩定狀態。表九則列出各段之邊坡長度資料。

表九 國道開挖邊坡數量統計表 (李和王, 2014)

國道名稱	興建時期 (民國)	路線長 (km)	邊坡長度 (單向km)
國道3(二高)	76-92	518	147.3
國道5(北宜高)	80-95	54.3	3.9
國道6(南投段)	93-98	37.6	0.9

5.1 有關國道3邊坡之工程穩定簡述如下:

5.1.1 0k+850~970 樟樹里高架橋北橋臺路堤段

路堤於1992年7月開始填築，7月下旬填築至約9m高，1992年8月6日堤面發現不正常之龜裂，當日下午即擴大造成9m高之土堤整體向坡腳坍塌，形成一滑動範圍長達120m，寬度約50m之扇形區域，其中路堤面最大落差達2m，張力裂縫亦深達5m以上。路堤填築區原為泡置木材之低窪沼澤地，為一高壓縮及低滲透性質之軟弱地層。植入二排PC樁後，因未能貫入基盤無法發揮止滑作用，再施作一排1.2m ϕ 之鑽掘樁貫入基盤3倍樁徑後，始發揮良好之止滑效果。

5.1.2 國道3順向3.1K

國道3號3.1K南下線於2010年4月25日下午兩點多發生滑動，雙向車道遭埋面積達200 \times 60m²，大埔跨越橋也隨著山崩斷成兩截而掉落至高速公路主線。其發生原因請詳見大

地工程學會的調查報告。

5.1.3 雙向23K+919~23K+939

1911年11月連日大雨導致平緩坡地大面積滑動，最高的一個坍塌區位於政大整地區下方，約1至2公尺便有一滑動面並有滲水現象，最大落差為三公呎，坡趾有隆起現象，第二個位於老泉里巷民宅周圍及北二高之排水箱涵的上方，落差約1.5至2公尺間，部份箱涵被土壓毀，並有滲水情形。現場破壞情形研判，位於坍塌區東北方之大寮層未有明顯裂縫或破壞，而灣潭斷層在此為一高角度逆斷層(約70°)，故研判非一深層滑動破壞，應為表層覆土及黃棕色沉泥質細砂層或粉砂質沉泥，產生淺層多階漸次性弧形滑動破壞。整治方式為：1. 山谷坡腳設擋土牆並大規模填土以坡趾壓重方式穩定邊坡。2. 增設植土草帶綠化防止地下水入滲及雨水沖刷。3. 埋設地下盲溝以排除地下水增加邊坡穩定。

5.1.4 國道3甲逆向(北上)萬芳交流道左側出口環道

地質為中新世石底層、主要為砂頁岩互層。1993年8月開挖後即發生局部淺層滑動，以隔梁保護工。1994年初之陰雨造成第二階以上格梁護坡龜裂，先以地錨穩定，至1994年5月豪雨，坡腳尚未保護處坍塌並引致上方已完成格梁護坡向下位移2至3公尺，坡頂則有寬5至6公尺，高差2至3公尺之張力裂縫。最後以排樁加地錨措施處理。

5.1.5 國道3順向(南下)24K+492~24K+503

為三階開挖邊坡，地質屬中新世大寮層砂岩及砂頁岩互層，開挖過程遭遇連續降雨，岩層間抗剪強度下降，產生翻倒隆起破壞。左側邊坡改採緩坡並以鋼網格框植生，右側邊坡採緩坡並以灌漿岩栓加強。

5.1.6 國道3順向27K+060~27K+200

為八階高開挖邊坡，地質屬中新世南港砂岩的一部分，1993年5月當邊坡開挖第三階時，完成的噴凝土產生明顯裂縫且坡址鼓起，坡面形成傾倒破壞。穩定方式採排樁及地錨，坡址則以壓重工法處理。

5.1.7 國道3號雙向 32K+626~32K+710

隧道洞口開挖邊坡，坍方區上部為高度風化黏土夾岩屑，上部為石底層之砂頁岩互層。1991年6月因豪雨影響右側邊坡產生滑動，同年10月採修緩坡並增設岩錨牆與跌水工、消能池方式處理。但於同年12月再發生兩次滑動。處理方式以土壓平衡方式進行整治。

5.1.8 國道3號雙向 33K+092~33K+108

為五階開挖邊坡，地質屬中新世石底層之砂頁岩互層或厚頁岩夾砂岩。開挖過程產生翻倒隆起，於是第一、二階採RC格梁植生護坡，部分區域以岩栓錨定加固。

5.1.9 國道3號雙向 35K+093~35K+095

為三階開挖邊坡，本區邊坡屬舊崩積層又為舊煤礦及廢石堆置場。開挖後逢大雨造成邊坡坍滑，工程上採RC格梁植生護坡加岩栓或岩錨定加固。

5.1.10 國道3號順向 42K+600~42K+700

1991年11月24日及12月1日因連續降雨造成砂岩與泥岩互層間平面滑動，於是將坍滑區改修緩坡並填補裂隙，加以排樁加繫梁維持邊坡之穩定性。

5.1.11 國道3號順向 42K+700~43K+0

邊坡高20公尺坡面有兩階，施工過產生砂頁岩互層順向滑動，範圍長60至85公尺，高30公尺，深約12至18公尺。最後僅以修緩坡及植生處理。

5.1.12 國道3號順向 79K+800~80K+150

施工過產生小規模淺層坍滑，範圍長15至20公尺，寬約10至15公尺，深度約2至3公尺。工程上於清除坍方區鬆土後植生，並於第一階平臺打設橫向水平排水管處理。

5.1.13 國道3號順向 84k+100~84k+290

為四階開挖邊坡，覆土層下屬頭嵙山層香山相砂頁岩互層。1992年9月及1993年7月均有傾覆破壞發生。工程上主要以岩栓及打設水平排水管處理。

5.1.14 國道3號逆向 84k+400~84k+600

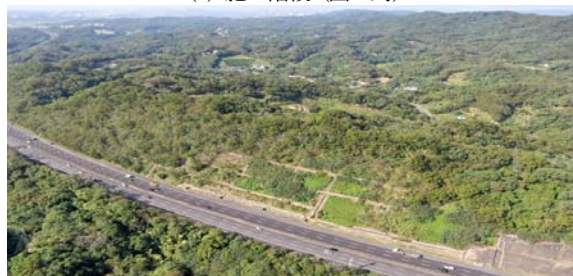
亦是頭嵙山層香山相砂頁岩互層之傾覆破壞，工程上主要以打設洩水管及坡面掛網噴凝土處理。

5.1.15 國道3號順向 85K+400~85K+830

為六階開挖邊坡，地質上為上新世卓蘭層砂泥岩互層。邊坡由上往下開挖至第2及3階時，因連日大雨導致邊坡坍滑，範圍長10至12公尺，寬約50公尺，深度約2至5公尺，主要為砂泥岩互層平面滑動。工程上以排樁、地錨、蛇籠及噴凝土處理。此處邊坡於施工階段及現況詳圖五。



(a) 施工階段 (國工局)



(b) 現況(廖振程及吳重緯提供)

圖五 國道3號順向 85k+400m~85k+830m

5.1.16 國道3號順向 86k+800~87k+100

邊坡覆土層下屬頭嵙山層香山相砂頁岩互層，邊坡位處舊坍滑區。施工中因降雨，加上順向坡、舊坍滑區及挖坡坡址之故而致不穩定，工程上以擋土牆處理。

5.1.17 國道3號逆向 87k+420~87k+650

亦屬頭嵙山層香山相砂頁岩互層，1994年9月3日因葛拉絲颱風造成路肩裂隙，以鋼軌樁措施暫維邊坡穩定。1995年的連續降雨兩個月，1995年4月4日發現路肩下陷及路堤邊坡縱向裂縫。工程上主要以橫向盲管及水平洩水管處理。

5.1.18 國道 3 號順向 87k+870~88k+50

為三階開挖邊坡，位於舊有的崩塌區，地表為風化鬆散的砂岩，岩層與切坡平行之順向坡。施工時因雨水入滲崩積土層，其與泥岩層間產生順向平面破壞。工程上除於第二階以上削緩坡外，並削除崩積土層至泥岩出露處，構築土牆，及加強排水降低地下水壓。

5.1.19 國道 3 號順向 92k+700~94k+300

為三階開挖邊坡，屬覆土層與其下岩層間之平面滑動。工程上主要以排樁、地錨、土牆及噴凝土整治。

5.1.20 國道 3 號逆向 92k+650~94k+300

1991年8月初產生坍塌，範圍長15至20公尺，寬約100公尺，深度約3至5公尺，為表土與泥岩間之順向平面滑動。工程上仍以排樁、地錨、土牆及噴凝土等工法整治。

5.1.21 國道 3 號順向 94k+300~94k+800

1995年5月北二高80K+275~340路段南下線，由於豪雨，右側邊坡地表雨水經由坡頂農路兩側裸露表土下滲。另該邊坡坡面原係噴凝土覆蓋，加上原先預埋之淺層排水管阻塞，致覆蓋之表土含水量達飽和，滲入泥岩層頂面，使泥岩軟化，造成邊坡滑動。影響本坍塌之地質構造為柑子崎向斜，其軸呈東北—西南走向(約北偏東80°)，軸部略向西南傾沒，往東北逐漸消失。由於向斜軸約略通過高速公路主線80K+300~350，所以本路段於主線西側邊坡均為順向坡。對坍塌型態及破壞機制審慎評估後，決定採用具有相當柔性及加勁效果之石籠與加勁擋土牆作為主要整治方法。此處邊坡於施工階段即現況詳圖六。

5.1.22 國道 3 號順向 95k+600~96k+280

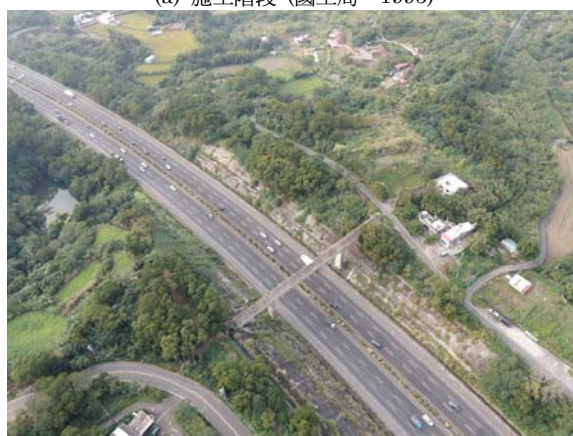
二階開挖邊坡，進行第二階開挖時，開挖坡面於一周內下陷外滑1公尺，主要為砂泥岩互層之平面滑動，最後以擋土排樁整治。

5.1.23 國道 3 號順向 96k+280~96k+600

本區為砂泥岩互層，受柑子崎向斜軸之影響，為一順向坡。由於豪雨造成崩積土沿泥岩層之平面滑動。整治以土牆及加強排水處理。



(a) 施工階段 (國工局, 1995)



(b) 現況 (廖振程及吳重緯提供)

圖六 國道 3 號順向 94k+300~94k+800

5.1.24 國道 3 號順向 96k+280~96k+600

1991年6月下旬於豪雨後產生滑動，坡頂下陷約60公分，地面龜裂。主因仍是砂泥岩互層之平面滑動，最後以加勁擋土結構整治。

5.1.25 國道 3 號雙向 97k+100~97k+200

(關西新竹段 π 型跨越橋)

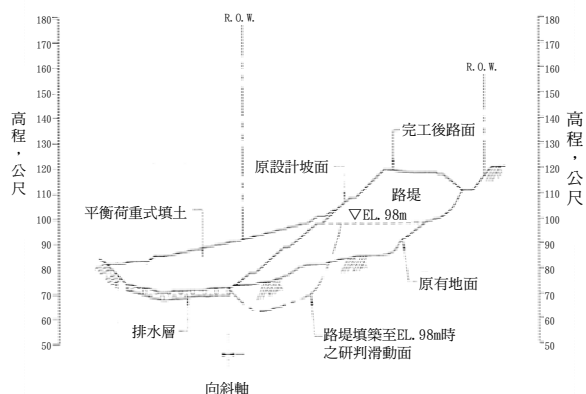
此橋是國道第一座 π 型跨越橋，橋長96m，寬13.1m，橋重藉兩端橋柱傳至淺基礎上，其垂直力與基礎底面交角為33.34°。斜橋墩設計載重為1301.6噸，橋臺載重則為1001.03噸。原設計，南下線邊坡為順向坡之故，採岩錨穩定措施，北上線認定柑子崎向斜軸係位於橋背有一段距離，只採用格框表面護坡。

橋體完成進行土方開挖時發現南下及北上線均發現有三層主要節理或泥岩弱面存在，尤其是南下線有一泥岩層恰位於斜橋墩正下方，南下線順向坡傾角為14°~20°，北上線則為微逆向坡。於是先暫停橋體下土方開挖，接著採以下措施；1. 北上線邊坡之節理弱面以水泥砂漿填補；2. 橋下第一階坡面採可複拉式

地錨，以便於預力損失時可複拉補足預力；3. 第一階坡由上而下分四次開挖，並立即於開挖面噴噴凝土，再打設岩錨；4. 下一階之開挖，需待上一階岩錨施加預力後再行開挖。

5.1.26 國道 3 號逆向 96k+600~97k+350

本路段為填方路段，最高高度35m。因受柑子崎向斜軸影響，呈地下水匯集之處，原地表為溼地及舊河道，主要由厚層砂岩與泥岩組成，並夾有砂頁岩與薄泥岩互層，航照資料顯示為古老崩塌區。當路堤填築至15m高時，施工路面及附近發現有多處裂隙，監測結果顯示滑動面主要在泥岩弱面。經反推，泥岩之有效及殘餘摩擦角僅有10度及9.6度左右，研判滑動主因為泥岩強度低，順向，向斜軸之高地下水壓等。於是於坡趾設置平衡用填方，最高高度達18m，總填方約28萬立方公尺。詳圖七及圖八。



圖七 國道 3 號逆向 96k+600~97k+350 剖面圖 (國工局, 2013)



圖八 國道 3 號逆向 96k+600~97k+350 (國工局, 2013)

5.1.27 國道 3 號順向 97k+320~97k+620

本區為三階開挖邊坡，開挖完成後第一階坡面產生裂縫，因係屬順向坡平面滑動，經重新設決定增設兩排地錨穩定邊坡。

5.1.28 257K+650~830 北上線(係舊的里程數)

施工期間滑動範圍有三區：665~700、705~770及780~830，坡頂平臺有多處張力裂縫及沖蝕溝，截水溝斷裂線落，坡址局部積水。坍塌主因為區域外未完整造成工區內積水，坡址泡水軟化而滑動。整治以緩坡、加強排水及坡址設置L型溝兼具擋土功能。

5.1.29 255K+450 南下線(係舊的里程數)

由於1997年6月的連續豪雨，導致邊坡坍塌，坡面陷落2公尺。坍塌主因為覆土層沿其下方岩層介面之平面滑動，最後將坡面修為1:5(V:H)之緩坡並將強植生防沖刷方式處理。

5.1.30 266K+800 北上線(係舊的里程數)

1998年11月30日開始路堤坡址外施工道路產生裂隙，排水箱涵變形，至同年12月29日產生明顯邊坡坍塌，坡頂陷落約1.9公尺，邊坡呈3.3公尺外移，及局部2.5公尺隆起。本區位於山溝處，地質上屬更新世六雙層之砂泥岩互層，坍塌主因地下水易匯集致水位高，由於路堤填土增重及坡址基礎土壤軟化而發生弧型破壞。穩定工法除於坡址土讓置換外，並採坡址壓重工法。

5.1.31 283K+150~170 南下線(係舊的里程數)

本區地質屬更新世嶺口礫石層下段的砂岩夾頁岩層，施工過程曾因豪大雨造成楔型破壞，整治上採緩坡處理。

5.1.32 旗山支線 C397 標 1K+570~584 北上線

本區地質覆土層下為更新世嶺口礫石層下段的砂岩夾頁岩層，施工中因連續大雨造成最上一階產生滑動，範圍長14公尺，高約12公尺，深度約2至4公尺。整治工法除挖除坍塌體，主要工程為加勁擋土結構及蛇籠，並加強排水。

5.1.33 旗山支線 C397 標 0K+400 南下線

為五階開挖邊坡，地質屬上新世南勢崙砂

岩夾頁岩或砂頁岩互層及更新世嶺口礫石層下段礫岩夾砂岩。施工中邊坡產生坍塌，主因為連日降雨，覆土層產生圓弧形滑動，整治方案主要為第一及二階採階梯式RC牆，被填排水粒料，第三至五階則採掛網噴凝土。

5.1.34 旗山支線 C397 標 1K+100 南下線

為四階開挖邊坡，施工中曾因連日豪雨，致第二、三階平臺坡址產生張裂隙，加上地表逕流滲入平臺溝下方土層，而導致圓弧形破壞。由於坍塌區後方有民宅，先以預壘樁以防滑動面擴大。最後整治方案主要為第一及二階採階梯式RC牆，第三至五階則採掛網噴凝土。

5.2 國道 5 南港頭城段

5.2.1 九號崩塌地(17k+900)

潭邊橋西側為一崩場地，本路段路堤填築高達15m，分析結果顯示路堤填築會造成邊坡不穩定，因此除加強排水外，於填土坡腳處打設一排直徑2.0m之全套管止滑樁，路基下方則打設24支直徑0.8m之全套管基樁以加強抗滑。

5.2.2 加勁路堤邊坡(19k+600)

本路段填方高達55m，包含五層加勁路堤，採用鍍鋅鋼筋格網為加勁材，加勁材垂直間距為50cm，最長達50m。回填材之土壤塑性指數須小於6。

5.2.3 加勁擋土牆

主要位在石碇交流道、彭山隧道北洞口與頭城交流道收費站，加勁材垂直間距採75cm。石碇交流道處之加勁擋土牆區為高填方路堤，此處之擋土牆有三層，高差達32.8m。彭山隧道北洞口之加勁擋土牆有二處，第一處即位北洞口約260m北上線上，長157m，高15.2m，面版面積1950m²。第二處為於北洞口構築口約60m之南下線上，擋土牆亦有三層。頭城交流道收費站為高填方路堤，其四周以擋土牆圍繞，除東側採傳統擋土牆及南、北兩側部分為回填坡外，餘者皆採加勁擋土牆，總長773m，面版總面積達6360m²。

頭城收費站所處地層為厚細砂沖積層，地

震時恐有液化之虞。因此於橋臺位置進行地盤改良，以擠壓砂樁處理，採三角形排列，間距為1.75m，長度10m。改良位置三處，聯絡道下浦排水橋處有532支，下浦排水橋處876支，頭城交流道穿越橋處420支。

5.2.4 坪林行控中心閘道二邊坡坍塌

0k+100~250處邊坡原採型框工法及岩栓保護，在施工完成後，1997年6月15日因連日豪雨發生坍塌，滑動面積約200m³。坍塌處上方茶園地表出現縱及橫向裂縫，最寬處20cm，上下段差約35cm。於是邊坡開挖保護由原設計之5階改為11階，並以噴凝土與型框護坡保護。2000年10月31日象神颱風之大雨，東側坡面發生淺層圓弧型破壞以及岩楔滑動，使得高階處坡面嚴重開裂變形。工程上處理，高階處加設排水管，低階處增設混凝土格梁及60T地錨穩定處理。

5.3 國道 6 號

5.3.1 14k+092~120 南側邊坡坍塌處理

位於雙冬路段之13k+830~14k+130路塹段，表層為沖積層或階地堆積，主要由礫石夾砂組成，其下為礫岩或砂岩層。施工中於14k+092~120南側邊坡坡面中央發現一厚度約1m之粉砂夾層，其上方為未緊密膠結之卵礫石層，因邊坡上方緊鄰民宅，於該區曾設一層石籠保護工，以增加坡面表層之抗沖刷能力。

5.3.2 23k+380~450 邊坡坍塌處理

位於北山坑，主要地質為坡面礫石夾砂覆蓋層及水長流層之砂頁岩互層，原設計以自由型格梁、灌漿錨筋與植草袋植生護坡。施工過程因岩層破碎與順向節理而致局部坍塌。2006年9月22日於第四階保護工施工時沿節理面發生局部淺層坍塌，於是第四階改設鋼筋混凝土格梁護坡及45T地錨(長28m@ 4x4)。然2007年9月13日於施作坡趾排水溝時再次滑動。於是第四階改為上下兩層，每層又有二階，上層修為緩坡，再以自由型格梁加3m/8m交錯之灌漿錨筋(直徑25mm)，下層以自由型格梁加8m灌漿錨筋(直徑25mm)護坡。2008年4月13日第四階降挖時又再度坍塌，原因跟

前二次一樣，於是於第3、4階交界平臺，以垂直孔進行灌漿以節理面補強，其餘工法維持第二次坍塌所採方式，終完成此邊坡之穩定。

六、其他土工技術

6.1 C387A 標潮州崁頂段橋梁及崁頂交流道

本路堤段位於舊河川沖積平原，土壤可壓縮性高，為防填土後之差異沉陷，軟弱土壤區採垂直排水帶改良。

6.2 擠壓砂樁

北二高中和路段軟弱地盤路堤以及北宜高速公路頭城交流道均採用擠壓砂樁改良地質。

6.3 托底明挖

中二高竹南段需從營運中的縱貫線鐵路下方穿越，為不影響鐵路營運，採用托底明挖設計與施工。

6.4 托底降基

中山高及北二高汐止地區跨越基隆河橋樑9座考量河道整治後橋梁基礎裸露情況，為進行必要之加固而採托底降基。

6.5 補樁擴基

中二高濁水溪橋因受沖刷橋基裸露，經檢討後採補樁擴基補強。

交通部臺灣區國道新建工程局 (2004)，「第二高速公路興建專輯- 隧道及大地工程篇」。

交通部臺灣區國道新建工程局 (2006)，「北宜高速公路興建專輯(南港頭城) II 橋梁工程-大地工程」。

交通部臺灣區國道新建工程局 (2006)，「北宜高速公路興建專輯(頭城蘇澳) II 橋梁工程-大地工程、建築與景觀工程、工程管理、重大記事」。

交通部臺灣區國道新建工程局 (2010)，「山水隨行 國道6號興建專輯(02)大地工程及隧道篇」。

交通部臺灣區國道新建工程局 (2010)，「山水隨行 國道6號興建專輯(02)橋梁工程篇」。

交通部臺灣區國道新建工程局 (2013)，「國道大地工程技術實務」。

交通部臺灣區國道新建工程局 (2014)，「國道1號五股至楊梅段拓寬工程計畫」。

交通部臺灣區國道新建工程局 (2014)，「誌在千里」。

李有恆、王希光 (2014)，「國道大地工程技術應用」，*大地技師*，第9期，第48-67頁。

林三賢、蘇英豪、李有恆、顏東利、楊志益 (1994)，「 π 型跨越橋基礎下邊坡之穩定分析及處理」海峽兩岸土力學及基礎工程/土工技術學術研討會論文集，西安。

張文城 (年份不詳)，「北宜高速公路雪山隧道之挑戰與突破」，演講資料。

曾大仁、李勝宗 (2009)，「國道工程回顧與展望」，*中華技術*，第84期，第44-60頁。

誌謝

本報導內容完全參考並取自所列之參考文獻。

參考文獻

中華民國隧道協會 (2009)，「臺灣隧道工程發展史及案例彙編」。

王錦洋 (2016)，「淺談隧道」，中興工程科技研究發展基金會出版。

交通部臺灣區國道新建工程局 (1999)，「第二高速公路特殊橋樑專輯」。

交通部臺灣區國道新建工程局 (2000)，「第二高速公路邊坡坍塌案例回饋設計之研究」。